

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-331309

(43)公開日 平成6年(1994)12月2日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 7/34	- Z	9106-2F		
H 0 1 J 37/28	Z			

審査請求 有 請求項の数1 F D (全 3 頁)

(21)出願番号 特願平5-145556

(22)出願日 平成5年(1993)5月25日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社  
東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 日高 睦夫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 曾根 純一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 中村 和夫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

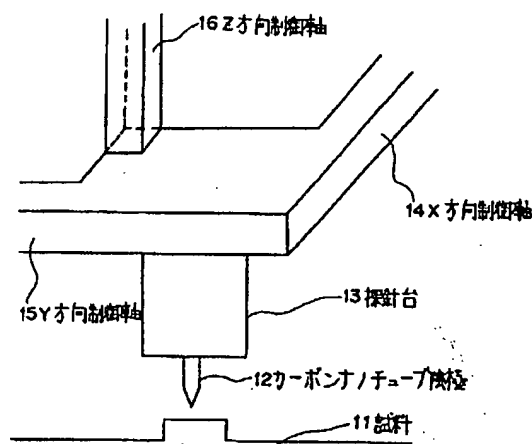
(74)代理人 弁理士 館野 千恵子

(54)【発明の名称】 カーボンナノチューブを用いた陰極

(57)【要約】

【目的】 STMの探針として用いた時に優れた解像度が得られ、また、電子の放出効率の高い陰極を提供する。

【構成】 カーボンナノチューブの一端の先端を円錐状に細くし、他端に電圧端子を具備したものを陰極とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 カーボンナノチューブの先端部が円錐状に細って閉じられ、他端には電圧端子が具備されてなることを特徴とするカーボンナノチューブを用いた陰極。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は走査トンネル電子顕微鏡やトランジスタ等に用いられる極微細の陰極に関する。

【0002】

【従来の技術】 フィジカル・レビュー・レター誌第49巻、第1号、第57頁に記載されている走査トンネル電子顕微鏡（Scanning Tunneling Microscopy; 以下、STMと記す。）は極めて高分解能の観察手段であり、原子レベルの観察が可能である。図2はSTMの概略構成図である。導電性のある試料21に対して負に印加された探針22が一定の距離以下に近づくと、探針22と試料21の間にトンネル電流が流れる。トンネル電流は探針22と試料21間の距離に対して指数関数的に変化するため、この距離に対して非常に敏感である。探針22にはX、Y、Z方向の制御軸23、24、25が取り付けられており、それぞれの制御軸は圧電素子によって駆動される。圧電素子は電圧によってその長さを変える素子であり、圧電素子に電圧を印加することによって、探針22のX、Y、Z方向の位置をそれぞれ制御することができる。観察にあたっては、試料21と探針22の間に一定の電圧の下で一定の電流が流れるようにしておき、X、Y方向制御軸23、24に電圧を印加することによって探針22を走査させる。このとき試料21表面の凹凸に応じて試料21と探針22間の距離が変わりトンネル電流が変化しようとするが、このトンネル電流を一定に保つようZ方向制御軸25を駆動する圧電素子に電圧を印加し試料21と探針22間の距離を一定に保つ。このZ方向制御軸25を駆動する圧電素子に印加する電圧を位置の関数としてモニターすれば、試料21表面の形状を知ることができる。STMはトンネル電流が試料21と探針22間の距離に対して極めて敏感なことから、圧電素子を用いればオングストローム単位の位置の制御が可能になることから、極めて高感度の観察手段である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 STMの分解能を上げ、より鮮明な像を得るためには、探針22の先ができるだけ鋭いことが望ましい。STMの探針22はプラチナ-イリジウムの合金やタングステン等の金属を電界研磨によって削ることによって得られる。しかしその先端の直径は最小で50nm程度であり、原子等の被観察対象と比べると大きすぎるという欠点があった。このSTMの探針の例に見られるように、原子レベルの極微細な電子源（陰極）は従来得られていなかった。本発明は、前記STMの探針等に用いることによって、従来の性能

を大幅に向上させることのできる極微細な陰極を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明は、カーボンナノチューブの先端部が円錐状に細って閉じられ、他端には電圧端子が具備されてなることを特徴とするカーボンナノチューブを用いた陰極である。

【0005】

【作用】 カーボンナノチューブは、固体物理第27巻、第6号、第441頁に記載されているようにナノメートルサイズの黒鉛の極微細管で、金属または半導体の性質を持つ導電体である。またカーボンナノチューブを構成する炭素の六員環の一部を五員環で置きかえると、カーボンナノチューブは円錐状に細り先端が閉じる。この先端の直径は1nmから数nm程度であり、極めて細くすることができる。従って、カーボンナノチューブの先端を閉じ、他端に電極を設けることで、極微細な陰極を得ることができる。

【0006】

【実施例】 次に本発明の実施例について説明する。本実施例では、カーボンナノチューブを用いた陰極をSTMの探針に用いた場合について述べる。図1は被観察物である試料11を観察するSTMの概略構成図である。探針としてカーボンナノチューブ陰極12がある。このカーボンナノチューブ陰極12は、太い部分の直径が30nmで先端の直径は2nmであり、金属的な導電体である。カーボンナノチューブ陰極12は、金属からなる探針台13に取り付けられ、この探針台13を通して電子が供給される。本実施例では探針台13には銅を用いる。探針台13の位置は、X、Y、Z方向制御軸14、15、16によって制御される。X、Y、Z方向制御軸14、15、16はそれぞれ圧電素子で駆動される。

【0007】 試料11とカーボンナノチューブ陰極12を十分接近させ、探針台13を介してカーボンナノチューブ陰極12に電圧を印加すると、カーボンナノチューブ陰極12先端から電子が放出され、トンネル電流が試料11との間に流れる。X、Y方向制御軸14、15を圧電素子を用いて動かし、カーボンナノチューブ陰極12を試料11上に走査させる。このときトンネル電流が一定になるようにZ方向制御軸16を駆動する圧電素子の電圧を制御する。このトンネル電流は試料11とカーボンナノチューブ陰極12との距離によって決まるため、Z方向制御軸16を駆動する圧電素子の電圧の変動は、試料表面の形状を極めて高精度に反映し、この電圧を位置の関数としてプロットすることによって、試料11表面の形状を精度良く知ることができる。

【0008】 本実施例では、STMの探針の先がカーボンナノチューブで構成されているため極めて細い。STMは通常原子レベルの構造を観察することを目的としているため、探針の先が原子の大きさと同じ程度であるこ

とは分解能を上げ、かつ鮮明な像を得るために極めて重要である。以上のことから、本実施例を用いれば極微細な陰極が得られ、それをSTMの探針に用いることによって、解像度が高く鮮明な画像の原子レベルの観察が可能となる。本実施例では、カーボンナノチューブを用いた陰極をSTMの探針として用いたが、トランジスタの陰極等としても用いることができる。この場合、大きさだけでなく、先端が細いことに由来する電子の放出しやすさからも大きな効果が期待できる。

【0009】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、カーボンナノチューブを用いて原子サイズまで先端のとがった陰極が実現できる。このカーボンナノチューブ陰極は、例えばSTMの探針として利用でき、従来のものを大きく上回る解像度が得られるという効果を有する。またトランジスタの陰極として利用すれば、従来のものより、より小さな電圧で動作するトランジスタが得られるという効果も有する。

\*

\*【図面の簡単な説明】

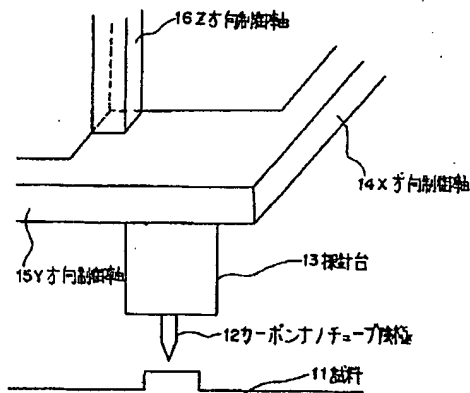
【図1】本発明による陰極を探針として用いたSTMの概略構成図である。

【図2】従来例による探針を用いたSTMの概略構成図である。

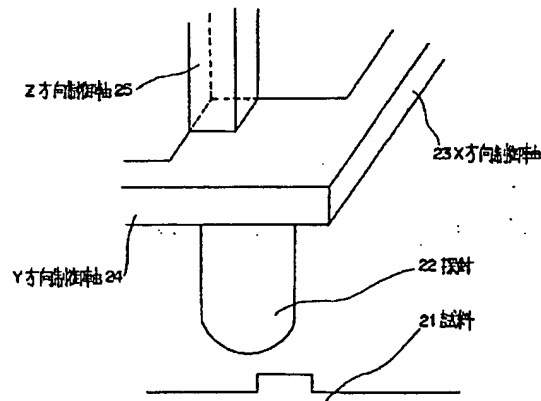
【符号の説明】

- 11 試料
- 12 カーボンナノチューブ陰極
- 13 探針台
- 14 X方向制御軸
- 15 Y方向制御軸
- 16 Z方向制御軸
- 21 試料
- 22 探針
- 23 X方向制御軸
- 24 Y方向制御軸
- 25 Z方向制御軸

【図1】



【図2】



English  
of Ref 1

**Japanese Open-Laid Publication number: 06-331309**

**Date of publication of application: 2. December, 1994**

**Application number: 05-145556**

**Date of filing: 25.May.1993**

**Applicant: Nippon Electric Company(NEC)**

**Inventor: Mutsuo HIDAHA**

**Inventor: Junichi SONE**

**Inventor: Kazuo NAKAMURA**

**Representative: Patent Attorney Chieko TATENO**

**Title of the Invention: CATHODE USING CARBON NANOTUBE**

**[ABSTRACT]**

**[Purpose]** To obtain a cathode having excellent resolving power as the probe of an electron microscope and having high electron discharge efficiency by finely closing the tip part of a carbon nanotube in a conical shape and providing a voltage terminal at the other end of the nanotube.

**[Constitution]** A carbon nanotube cathode 12 used as the probe of an electron microscope has a thick part with a diameter of 30 mm and a tip part with a diameter of 2 mm and a voltage terminal is provided at the other end of the cathode 12. When a sample 11 and the cathode 12 are allowed to sufficiently approach each other and voltage is applied to the cathode 12, an electron is discharged from the tip part of the cathode 12 and a tunnel current flows across the cathode 12 and the sample 11. X- and Y- control shafts 14, 15 are moved using a piezoelectric element to scan the sample 11 by the cathode 12. At this time, the voltage of the piezoelectric element driving a Z-control shaft 16 is controlled so as to make the tunnel current constant. The fluctuations of the voltage of the piezoelectric element driving the Z-control shaft 16 reflect the surface shape of the sample with extremely high accuracy. The fluctuations of this voltage are plotted as a position function to accurately detect the surface shape of the sample 11.

**[CLAIMS]**

**[Claim 1]** Cathode using carbon nanotube characterized in that a tip end portion of carbon nanotube is closed to be thin in a shape of cone and a voltage terminal is provided at other end.

**[Detailed Description of the Invention]**

**[0001]**

**[Industrial Application]** This invention relates to the microscopic used for scanning tunneling electron microscope and transistor, etc.

**[0002]**

**[Description of the Prior Art]** The scanning tunneling electron microscope described in the 49th volume, No. 1, page 57 of Physical Review Letter Magazine (Scanning Tunneling Microscopy; hereinafter described as STM) is the observation means with a very high resolution, and observation of atomic level becomes possible by it. Fig.2 is the outline schematic diagram of STM. When the needle 22 charged negatively approaches to the sample 21 with electroconductivity below a certain distance, the tunneling current changes exponentially for the distance between needle 22 and sample 21, and then is very sensitive for said distance. The control axes 23, 24, 25 of X, Y, Z direction, respectively, are attached to the needle 22, and each control axis is driven by piezoelectric device. The piezoelectric device is a component that changes its length with an voltage, and the positions of X, Y, Z directions of the needle 22 can be controlled by applying the voltage to the piezoelectric device. In order to observe, it is designed for a fixed current so as to flow between the sample 21 and needle 22 under a fixed voltage, and the needle 22 is scanned by applying the voltage to X and Y direction control axes. At this time, since the distance between the sample 21 and the needle 22 tends to change according to the irregularity of the surface of sample 21, the tunneling current tends to change. However, the voltage is applied to the piezoelectric device driving the Z direction control axis 25 to make said tunneling current constant, so that the distance between said sample 21 and said needle 22 is held to be constant. If the voltage applied to the

piezoelectric device driving said Z direction control axis 25 is monitored as a function of location, it is possible to know the shape of the surface of sample 21. The STM is the observation means of very high sensitivity because the tunneling current is very sensitive to the distance between the sample 21 and the needle 22, and the control of the location with an Angstrom unit becomes possible by using of the piezoelectric device.

[0003]

[Problems to be Solved by the Invention] In order to raise the resolution of STM and to obtain a clearer image, it is desirable for the tip end of needle 22 to be sharp as much as possible. The needle 22 of STM is obtained by shaving metal such as alloy of platinum-iridium and tungsten using electrolytic polishing. However, since the diameter of the tip end is about 50nm in minimum, there is the fault that it was too large compared with observed objects such as an atom. The very minute electron source (cathode) of atomic level was not conventionally realized. The present invention aims at providing a very minute cathode which can raise up the conventional performance greatly by using for the needle of said STM etc.

[0004]

[Means for Solving the Problem] This invention is the cathode using carbon nanotube characterized in that the tip end portion of carbon nanotube is closed to be thin in a shape of cone and the voltage terminal is provided at other end.

[0005]

[Function]	Carbon nanotube is the microscopic capillary of the graphite of nanometer size as described in the 27th Volume of Solid State Physics, No. 6, page 441, and it is a conductor with the property of metal or semiconductor. Moreover, if a part of six-membered ring of carbon which constitutes a carbon nanotube is replaced by five-membered ring, the tip end portion of carbon
------------	--

nanotube become close to be thin as the shape of cone. The diameter of the tip end is 1 nm to several nm, and the tip end portion can be made very thin. Therefore, the very minute cathode can be obtained by closing the tip end of carbon nanotube and by preparing the electrode in the other end.

[0006]

[Example] Next, the example of the present invention is explained. This example describes the case where the cathode using carbon nanotube is used for the needle of STM.

Fig.1 is an outline schematic diagram of STM which observes the sample 11 of an observed object. There is the carbon nanotube cathode 12 as a needle. The diameter of the thick part is 30nm and the diameter of the tip end is 2nm, and this carbon nanotube cathode 12 is a metallic conductor. The carbon nanotube cathode 12 is attached to the probe base 13 which consists of a metal, and the electrons are supplied through this probe base 13. Copper is used for the probe base 13 in this example. The location of the probe base 13 is controlled by X, Y, Z direction control axes 14, 15, 16, respectively. The X, Y, Z direction control axes 14, 15, 16 are driven by the piezoelectric device, respectively.

[0007]

When the sample 11 and the carbon nanotube cathode 12 are made to approach enough and an voltage is applied to the carbon nanotube cathode 12 through the probe base 13, the electrons are emitted from the tip end of the carbon nanotube cathode 12, and the tunneling current flows between samples 11 and the tip end. The X, Y direction control axes 14, 15 are moved using the piezoelectric devices, and the carbon nanotube cathode 12 is made to scan on the sample 11. At this time, the voltage of the piezoelectric device driving the Z direction control axis 16 is controlled so that the tunneling current may become



constant. Since this tunneling current is decided by the distance between the sample 11 and the carbon nanotube cathode 12, the fluctuation of the voltage of the piezoelectric device driving the Z direction control axis 16 reflects the shape of the sample surface with very high accuracy, and then the shape of the surface of sample 11 can be known precisely by plotting the voltage as the function of the location.

[0008]

In this example, since the tip portion of the needle of STM consists of carbon nanotube, it is very thin. Since STM aims usually at observing the structure of

atomic level, it is very important that the tip portion of the needle is the same extent as atomic magnitude, in order to raise resolution up and to obtain a clear image. As described above, the very minute cathode can be obtained by this example, and by using it as the needle of STM, it becomes possible to raise resolution up and to observe the atomic level with a clear image. Although in this example the cathode using carbon nanotube is used as the needle of STM, it can be used as the cathode of transistor, too. In this case, the big effectiveness is expectable also from ease of emitting of the electron originating in not only magnitude but a tip being thin.

[0009]

[Effect of the Invention] As explained above, in this invention, the cathode whose tip end is sharpened to atomic size is realized by using of carbon nanotube. For example, this carbon nanotube cathode can be used as a needle of STM, and it has the effectiveness that the resolution far exceeding the conventional needle is obtained. Moreover, if it is used as the cathode of transistor, it also has the effectiveness that the transistor which operates with smaller voltage than the conventional one is obtained.

**[Brief Description of Drawings]**

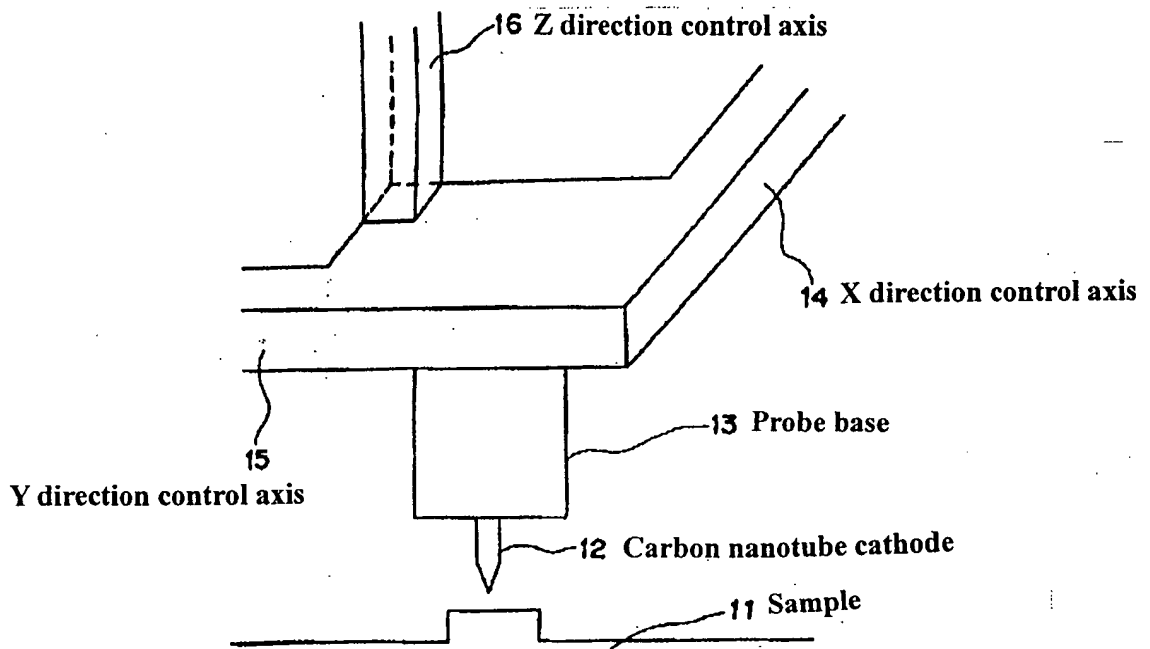
**[Fig.1]      An outline schematic diagram of STM which observes the sample 11 of an observed object.**

**[Fig.2]      An outline schematic diagram of STM.**

**[Description of Notations]**

- 11   Sample**
- 12   Carbon nanotube cathode**
- 13   Probe base**
- 14   X direction control axis**
- 15   Y direction control axis**
- 16   Z direction control axis**
- 21   Sample**
- 22   Needle**
- 23   X direction control axis**
- 24   Y direction control axis**
- 25   Z direction control axis**

**【Fig.1】**



**【Fig.2】**

